

HODNOCENÍ KOROZE A ZMĚN JAKOSTI VODY PŘI ÚPRAVĚ A DISTRIBUCI

Ing. Kateřina Slavičková, Ph.D.¹⁾; prof. Ing. Alexander Grünwald, CSc.¹⁾;
Ing. Marek Slaviček, Ph.D.¹⁾; Ing. Bohumil Šťastný Ph.D.¹⁾; Ing. Jan Jindra, CSc.²⁾

¹⁾ České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, katerina.slavickova@fsv.cvut.cz

²⁾ VAK JČ, České Budějovice

Úvod

Příspěvek se zabývá korozí a změnami jakosti vody, ke kterým dochází při procesu úpravy vody a při distribuci pitné vody. Kromě výsledků modelování jakosti vody a vyhodnocení korozních rychlostí je uvedena i metodika vyhodnocení koroze pomocí skenování a výpočtu procenta zasažení plochy korozí v programu Matlab. Byl vytvořen algoritmus, který umožňuje rozlišit z obrázku naskenovaného kuponu plochu nezkorodovanou od plochy zkorodované a odlišit plochy zasažené plošnou korozí od ploch zasažených korozí bodovou.

Problémy koroze v dálkových přivaděčích i v distribučních systémech pitné vody souvisejí s chemickými, fyzikálně-chemickými a biologickými procesy, probíhajícími v potrubí. Jejich průvodním znakem jsou změny jakosti pitné vody v celé řadě ukazatelů. K nejvýznamnějším patří obsah Fe (tzv. zaželezování vody), pH, konduktivita, zákal barva, obsah suspendovaných látek, DOC, CHSK, AOC, BDOC a řada mikrobiologických ukazatelů. Charakteristickým znakem korozních procesů je pokles koncentrace rozpuštěného kyslíku ve vodě.

Monitorování koroze

Při styku vody s nelegovanými materiály dochází za běžných provozních podmínek k anodickému rozpouštění Fe na Fe^{2+} . Na katodě se z rozpuštěného kyslíku tvoří anionty OH^- . Ionty Fe^{2+} mohou zůstat na povrchu materiálu v podobě ochranné vrstvy příp. přejít do vody. V ochranné vrstvě se mohou tvořit reakcí s některými složkami ve vodě málo rozpustné sloučeniny jako např. uhličitan železnatý (siderit), hydroxid železnatý, nebo může dojít k jejich oxidaci přes více nebo méně rozpustné mezistupně až na magnetit (Fe_3O_4) a hydratovaný oxid železitý (FeOOH). Menší část iontů Fe^{2+} v ochranné vrstvě se oxiduje na Fe^{3+} a tvoří viskózní vrstvu na korozních produktech (4).

Součástí zajištění a udržení požadované jakosti pitné vody při úpravě a distribuci je monitorování koroze. Jeho smyslem je výpočet a predikce korozního chování systému na základě informací o podmínkách provozu systému a využití základních informací při řízení provozu pomocí různých proměnných jako např. pH, teplota, konduktivita, $\text{KNK}_{4,5}$ a dalších. Výsledky slouží k odvození optimálních podmínek chemické úpravy vody a vedou k prodloužení životnosti používaných zařízení, zlepšení jakosti upravené vody, predikci způsobu a intervalů údržby a ke snížení provozních nákladů.

Některé způsoby monitoringu poskytují výsledky okamžitě využitelné v praxi, jiné informují o korozních rychlostech příp. o celkové korozi. Většina způsobů monitoringu se hodí nejlépe pro situace, kdy se posuzuje plošná koroze z celkového hlediska, případně se lokalizuje důlková koroze.

Žádný způsob monitoringu neposkytuje všechna potřebná data k vlastnímu hodnocení účinnosti procesu úpravy vody z hlediska koroze. Vhodné je použití několika způsobů. K neznámějším způsobům patří kuponové testy, měření lineárního polarizačního odporu (LPR), měření proudového napětí (ER), nepřímé zjišťování koncentrace rozpuštěných nebo suspendovaných látek. K prognostickým metodám hodnocení korozivních vlastností vody patří výpočet různých indexů jako např. Langelierova saturačního indexu (LSI), Ryznarova indexu stability (RSI), Pucktoriusova indexu tvorby inkrustů (PSI), Stiff-Davisova indexu (SDI), Oddo-Tomsonova indexu a indexu agresivity podle AWWA (AWWAI) (3).

Nevýhodou kuponových testů je dlouhý časový interval měření (30 – 90 d), jejich výhodou je naproti tomu jednoduchá interpretace a stanovení jak plošné tak důlkové koroze. Další metody jako LPR a ER umožňují okamžitě hodnotit pouze plošnou korozi. Nepřímá metoda neumožňuje určit typ koroze, interpretace výsledků je komplikovaná. V současné době se objevily způsoby, které kombinují výhody kuponových testů s náhradou klasické gravimetrické koncovky za použití skenovací techniky (1,2).

Vyhodnocování koroze s využitím skenovací techniky a hodnocení korozních rychlostí

Ve své práci jsme se zabývali sledováním koroze ve třech korozních smyčkách, instalovaných na úpravně vody Plav v Jižních Čechách. Rychlost koroze byla zjišťována v surové, filtrované a upravené vodě. Korozní testy byly prováděny podle normy TNV 757121 (5) pomocí ocelových destiček, umístěvaných do potrubí o DN 55,4 mm. Destičky byly vyměňovány v intervalech 35 a 70 dní. Po odstranění korozních produktů a inkrustů zředěným roztokem kyseliny chlorovodíkové s přídavkem inhibitoru koroze byly destičky opláchnuty, vysušeny a zváženy. Paralelně byla ověřována skenovací koncovka, která může doplnit a případně nahradit vážení exponovaných destiček.

Pojmem smíšená koroze se rozumí součet plošné a bodové koroze a vyjadřuje se v m^2 nebo v procentech z celkové plochy kuponu. Pro vyhodnocení rychlosti smíšené koroze bylo zapotřebí nejdříve určit procenta zkorodovaných ploch jednotlivých kuponů, a to zvlášť procenta plošné koroze a zvlášť procenta bodové koroze z celé plochy kuponu. Pro vyhodnocení byl využit program Matlab, ve kterém lze vytvářet algoritmy, dokáže namodelovat velké množství dat a integrovat matematické výpočty a vizualizace a díky tomu poměrně rychle, jednoduše a efektivně dokázal určit požadované parametry..

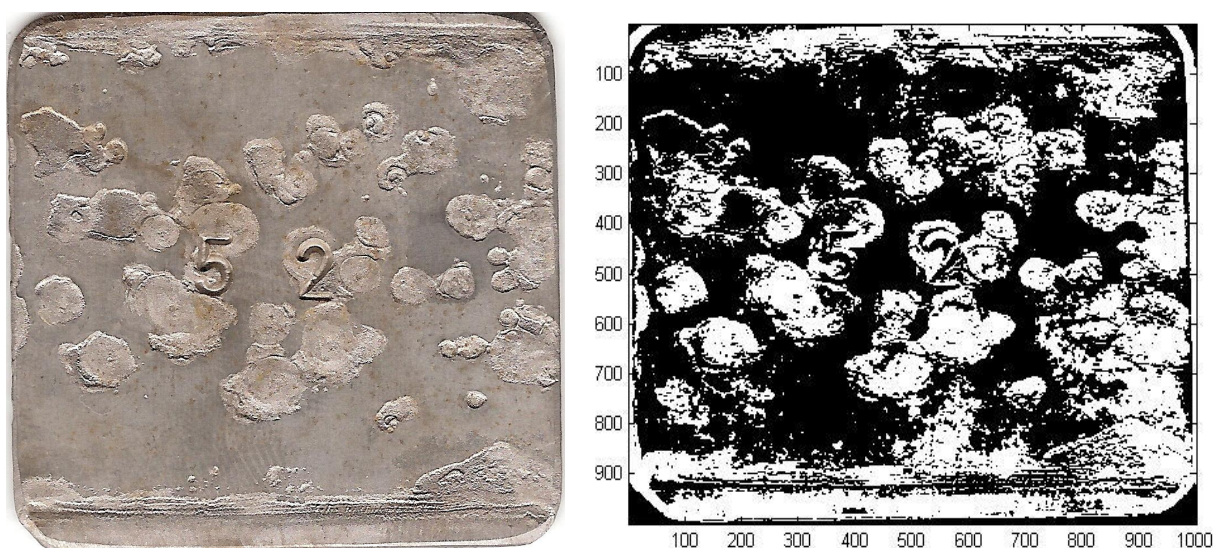
Postup a princip skenování kuponů

Před samotným vyhodnocením ploch zasažených korozi bylo zapotřebí z kuponů odstranit vrstvu inkrustů roztokem kyseliny chlorovodíkové s přídavkem inhibitoru koroze, kupony opláchnout, vysušit a poté jejich povrch převést do elektronické podoby, potřebné pro následné zpracování Matlabem.

Termínem skenování neboli snímání se označuje proces převodu textů, obrázků či jiných předloh do elektronického formátu vhodného pro počítačové zpracování. Každý kupon byl skenován ze dvou stran a byly k němu vytvořeny dva obrázky.

Princip fungování Matlabu

Hlavním úkolem bylo vytvořit algoritmus, který by umožnil rozlišit z obrázku naskenovaného kuponu plochu nezkorodovanou od plochy zkorodované, a také odlišit plochy zasažené plošnou korozi od ploch zasažených bodovou korozi. Matlab zpracovával každou stranu kuponu samostatně. Prvním krokem po načtení obrázku byl převod naskenovaného obrázku v milionech barev do 256 odstínů šedi, z nichž se následně určila prahová hodnota úrovně jasu. Tato hodnota se stanovila jako průměr všech hodnot jasu v celém obrázku. Hodnotám menším než byla spočtená prahová hodnota program přiřadil číslo 0 a hodnotám větším než hodnota prahová přiřadil číslo 1. Číslo 1 odpovídalo barvě černé, která představovala nezkorodovanou plochu, naopak číslo 0 odpovídalo bílé barvě, která představovala plochu zkorodovanou (vše je patrné na obr.1).



Obr. 1. Převod naskenovaného obrázku do obrázku ve 256 odstínech šedi

Procento plochy zasažené korozi vyjadřuje součet všech bodů s hodnotou 0. Tato plocha odpovídala jak plošné tak i bodové korozi. Hlavním problémem bylo vytvoření algoritmu pro výpočet bodové koroze. Bodová koroze se určila tak, že se nejdříve vytvořila matice o velikosti 40 x 40 pixelů. V tomto čtverci se následně vytvořily dvě kružnice. Jedna o poloměru 3, druhá o poloměru 19 pixelů. První kružnice se celým svým obsahem musela vejít do bodu, který představoval bodovou korozi. Druhá kružnice o větším poloměru naopak nesměla do korozního bodu zasahovat, ale musela jej celý obsáhnout spolu s kružnicí menší. Až program dokončil vyhledávání ve čtverci 40 x 40 pixelů, posunul se o 40 pixelů dále a postupoval stejným způsobem až prohledávání celého obrázku dokončil. Nalezené korozní body byly pro názornost viditelně označeny červenou barvou.

Výsledky zkorodovaných ploch byly určeny procentuálně. Procentuální zasažení plošnou korozi se opravilo tím způsobem, že se od vypočítané zkorodované plochy v procentech odečetla procenta bodové koroze.

Kontrola výsledků získaných Matlabem

Pro kontrolu výsledků, které byly získány Matlabem, byl proveden ruční výpočet. Porovnávaly se výsledky koroze 7 korozních kuponů, každý z nich ze dvou stran. Plocha plošné koroze vypočítaná Matlabem je vyšší než plocha spočítaná ručně,

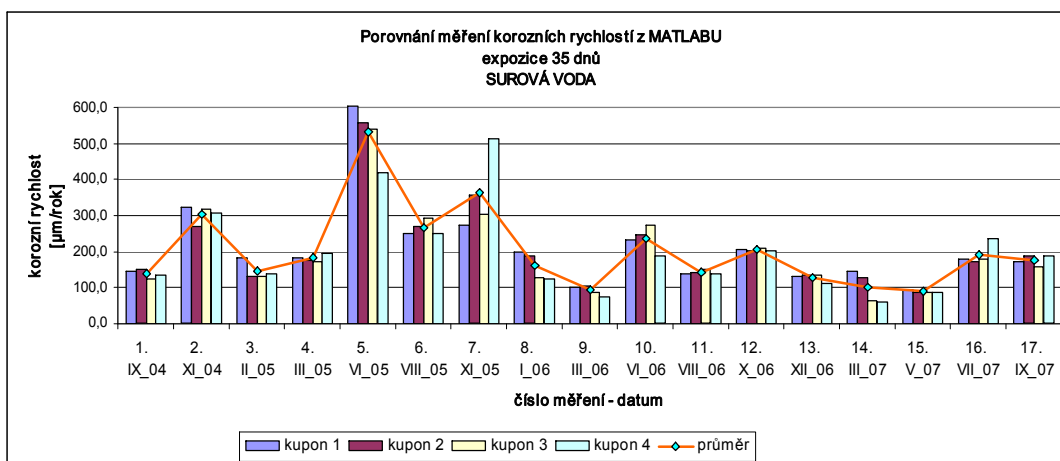
procentuální rozdíl však ve většině případů nepřesahuje deset procent. Tento rozdíl je způsoben tím, že menší zkorodované plošky, které jsou pokládány za bodovou korozi, Matlab započítal do koroze plošné. Celkově lze říci, že výsledky získané vyhodnocením Matlabem jsou použitelné a proti ručnímu postupu daleko rychleji dosažitelné. Odpadá zde i subjektivní názor zpracovatele.

Výsledky výpočtu zkorodovaných ploch programem Matlab

V tabulce 1 je uvedena pouze ukázka hodnocení korozních kuponů pro surovou vodu při době expozice 35 dnů. V prvním sloupci je uvedeno datum provedení korozního testu, dále doba expozice ve dnech a typ vody, ve které byly kupony umístěny (S – surová voda). Každý kupon byl vyhodnocen ze dvou stran (přední strana - a, zadní strana - b). Pro každou stranu byla spočítána plocha zasažená plošnou korozi (P) a plocha zasažená bodovou korozi (B) v procentech.

Tab. 1 Vyhodnocení plochy zasažené korozi

Datum	Exp.	voda	269a		269b		270a		270b	
			P[%]	B[%]	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]
19.9.2006 - 24.10.06	35	S	47,68	0,06	45,27	0,26	45,47	0,03	46,77	0,16
			271a		271b		272a		272b	
			P[%]	B[%]	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]	P[%]	B[%]
			45,53	0,03	46,61	0,03	53,29	0,02	47,37	0,12



Obr. 2 Ukázka porovnání a vyhodnocení korozních rychlostí s využitím Matlabu

Vyhodnocení korozních rychlostí v surové, přefiltrované a upravené vodě na úpravně vody sérií korozních testů bylo spolu s metodikou korozních testů publikováno a uvedeno ve výzkumné zprávě [6, 7].

Změny jakosti dopravované vody

Změny jakosti vody dopravované z úpravně vody Plav do VDJ Vodňany, VDJ Těšovice a VDJ Hodušín byly modelovány s využitím rozšířeného hydraulického modelu. Modelována byla doba zdržení, celkový aktivní chlor, volný chlor a železo. Pro ověření byly použity průměrné hodnoty těchto parametrů z let 2002 až 2005 tj. před sanací potrubí a pro železo i z let 2006 a 2007 po dokončení prací na cementaci potrubí.

Navrhovaný způsob umožňuje semikvantitativní hodnocení podílu plošné a bodové koroze u testovaných materiálů. Jeho přínosem je přesnější určení koroze a korozní rychlosti díky tomu, že mohou být vztaženy na korozí skutečně zasaženou plochu.

Současně byla hodnocena také jakost vody z hlediska významných fyzikálně chemických parametrů a biologické stability dopravované vody a modelovány změny jakosti vody v distribuční síti, kde dochází ke snížení koncentrací chloru a k nárůstu koncentrací železa vlivem koroze distribučních sítí.

Byla vypracována metodika k zabezpečení vysoké jakosti pitné vody jak po stránce fyzikálně-chemické tak mikrobiologické. Návrh metodiky vycházel z komplexního řešení několika vzájemně navazujících technických problémů: sestavení hydraulického modelu pro sledování dob zdržení vody v distribuční síti a hodnocení změn jakosti vody, zajišťování chemické a biologické stability pitné vody v průběhu úpravy i dopravy, hodnocení změn korozních rychlostí v definovaných místech na úpravně vody Plav, ověření možnosti vyhodnocování výsledků kuponových testů skenovací technikou a hodnocení možného vlivu depozit na jakost dopravované vody.

Poděkování

Výzkum byl realizován ve spolupráci s JčVaK České Budějovice. Za tuto spolupráci děkujeme a velmi si jí vážíme. Výzkum byl podpořen grantem NAZV 1G46036 a výzkumným záměrem MSM 6840770002.

Literatura

1. Choi K.Y., Kim S.S.: Morphological analysis and clasification of types of surface corrosion damage by digital image procesing. Corrosion Sci. 47, 2005, 1 – 15
2. Codaro E.N., Nakazato R.Z., Horovistiz A.L., Ribeiro L.M.F., Ribeiro R.B., Hein L.R.O.: An image processing method for morphology characterization and pitting corrosion evaluation. Material Science and Engineering A334, 2002, 298 - 306
3. Prisyazhniuk V.A.: Prognosticating scale-forming properties of water. Applied Thermal Engineering 27, 2007, 1637 – 1641
4. Sander A., Berghult B., Ahlberg E., Elfström B, Johannson E.L., Hedberg T.: Iron Corrosion in Drinking Water Distribution Systems – Surface Complexation Aspects. Corrosion Sci. 30, 1, 1997, 77 – 93
5. TNV 75 71 21 „Požadavky na jakost vody dopravované potrubím“ Mze ČR, Hydroprojekt CZ, a.s., Praha, srpen 2002
6. Grünwald, A. - Čiháková, I. - Fošumpaur, P. - Slavičková, K. - Slaviček, M. - Šťastný, B. - Rohanová, B. – Štrausová, K.: „Inovace procesu úpravy vody a zabezpečení vysoké kvality pitné vody v distribučních sítích“ [Výzkumná zpráva projektu NAZV 1G46036]. Praha: ČVUT, Fakulta stavební, katedra zdravotního a ekologického inženýrství, 2007, 102 s.
7. Grünwald, A. - Čiháková, I. - Fošumpaur, P. - Slavičková, K. - Slaviček, M. - Šťastný, B. - Rohanová, B. – Štrausová, K.: „Inovace procesu úpravy vody a zabezpečení vysoké kvality pitné vody v distribučních sítích“ [Výzkumná zpráva projektu NAZV 1G46036]. Praha: ČVUT, Fakulta stavební, katedra zdravotního a ekologického inženýrství, 2008, 78 s.